

О ПРИМЕНЕНИИ ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ УДАРА ПРИ РАСЧЕТЕ РЕЗИНОВЫХ ФУТЕРОВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.А.Тарасенко НГА Украины Днепропетровск

В.А. Настоящий, С.А. Джирма Кировоградский институт сельскохозяйственного машиностроения Украина

В работах [1,2] приведены методики расчета резиновых футеровок шаровых мельниц, основанные на применении формул классической механики.

Согласно данных методик падение мелющих шаров на поверхность футеровочных плит рассматривается как соударение жесткой сферы радиусом R и массой M с массивной упругой плоской поверхностью. Максимальное внедрение сферы в плоскость ε_m определяется [3]

$$\varepsilon_m = \left[\frac{5}{2} \cdot \frac{V_0 \cdot M}{k} \right]^{\frac{2}{5}} \quad (1)$$

Зависимость между контактной силой F и внедрением ε представляется [3]

$$F = k \cdot \varepsilon^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

В формулах (1, 2)

V_0 — скорость шара в момент контакта с поверхностью

$$k = \frac{4\sqrt{R}}{3 \cdot \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)} \quad (3)$$

Здесь E_1, E_2, μ_1, μ_2 — модули упругости и коэффициенты Пуассона соответственно материала шара и плоскости.

По известным характеристикам мельниц принимается размер R и масса M мелющих шаров, определяется скорость их падения в барабане мельницы V_0 , рассчитывается внедрение шара в поверхность плит ε_m и минимальная толщина футеровки S_{\min} , при которой обеспечивается механическая прочность

резиновых плит [2]

$$S_{\min} = \frac{\varepsilon_m}{[\varepsilon]} \quad (4)$$

где $[\varepsilon]$ — допускаемая относительная деформация резиновых футеровочных плит, определяемая экспериментально и составляющая [4] $[\varepsilon] = 0,25 \dots 0,3$.

Однако приведенные теоретические зависимости дают хорошее схождение с практическими результатами при их применении для расчета резиновых плит толщиной более 0,5 м и не отражают влияние на контактное внедрение шаров и возникающие при этом нагрузки толщины плит, что привело к необходимости введения в расчетные формулы (1-4) поправочных коэффициентов, определяемых экспериментально [2].

Несовершенство рассмотренной методики вызывает необходимость поиска более совершенных методов расчета и выбора параметров резиновых футеровочных плит. В качестве одного из таких методов может быть применена волновая теория удара, согласно которой протекание удара характеризуется распространением волн деформаций в соударяющихся телах. Согласно волновой теории [3] время удара, т.е. время в течении которого сохраняется напряжение в соударяющихся телах не соответствует времени их соприкосновения, а определяется [3]

$$t_y = \frac{2 \cdot l}{C_p} \quad (5)$$

где l — длина ударяемого тела, C_p — скорость распространения продольной волны в материале ударяемого тела.

Тогда закон сохранения количества движения для мелющего шара массой M при его контакте с футеровочной плитой запишется

$$M \cdot V = F \cdot t_y \quad (6)$$

где V — скорость шара в момент контакта.

Возникающая при ударе сила F с учетом (5) определится

$$F = \frac{M \cdot V}{t_y} = \frac{M \cdot V \cdot C_p}{2 \cdot l} \quad (7)$$

Для случая распространения в неограниченной среде скорость продольных волн для резины составляет $C_p = 1000$ м/с [3].

Из (7) следует, что значение силы, возникающей при ударе шара о резиновую плиту, определяется не только массой и скоростью ударяющего шара, физико-механическими свойствами материала плит, но и толщиной футеровочных элементов l .

В качестве критерия прочности принимаем допускаемые напряжения. Согласно [5] при внедрении шара в полуплоскость наибольшие растягивающие напряжения возникают на окружности круга контакта и равны

$$\sigma_{z(\max)} = 0,133 \cdot P_{\max}$$

где P_{\max} — удельное давление в зоне контакта.

$$P_{\max} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot F}{\pi^3 \cdot R^2 \cdot \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)^2}} \quad (9)$$

где F — сила прижимающая шар; R — радиус шара; E_1, E_2, μ_1, μ_2 — модули упругости и коэффициенты Пуассона контактирующих тела и плоскости.

С учетом (9), (8), (7) нормальные напряжения, возникающие при внедрении мелющего шара в резиновую плиту толщиной l определяются

$$\sigma_{z(\max)} = \sqrt[3]{\frac{2,35 \cdot 10^{-4} \cdot M \cdot V \cdot C_p}{R^2 \cdot l \cdot \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)^2}} \quad (10)$$

Так как рекомендуемый динамический модуль упругости резины [6] $E_2 = 10$ МПа значительно меньше модуля упругости стали $E_1 = 210000$ Мпа, то для случая соударения металлического шара с резиновой плитой формулу (10) можно представить в виде

$$\sigma_{z(\max)} = \sqrt[3]{\frac{2,35 \cdot 10^{-4} \cdot M \cdot V \cdot C_p}{R^2 \cdot l \cdot (1 - \mu_2^2)^2}} \quad (11)$$

Весьма важным является вопрос о выборе допускаемых напряжений для резины. Учитывая сложность физико-механических превращений, сопровождающих процесс деформирования резины, этот вопрос на сегодняшний день не может быть решен однозначно, однако результаты исследований позволяют полагать, что допускаемые напряжения износостойких резин можно принимать в пределах $[\sigma]_z = 1,4 \dots 2,5$ МПа, [4, 7].

С учетом значений допускаемых напряжений толщина резиновых футеровочных плит, способных без механических повреждений воспринимать нагрузки, возникающие при падении мелющих шаров определится

$$l = \frac{2,35 \cdot 10^{-4} \cdot M \cdot V \cdot C_p \cdot E_2^2}{R^2 \cdot (1 - \mu_2^2)^2 \cdot [\sigma]_z^3} \quad (12)$$

Рассмотрим пример выбора толщины резиновой футеровки для мельницы МПЩ 4500x6000, работающей с мелющими шарами максимальной крупностью $d = 80$ мм и массой $M = 2$ кг. Скорость падения шаров $V = 4$ м/с [1].

Характеристика материала футеровочных плит $E = 10$ МПа, $\mu = 0,5$, $C_p = 1000$ м/с, $[\sigma]_z = 1,5$ МПа [3, 4, 6, 7]. Согласно (12) $l = 0,062$ м.

Рассчитанная минимальная толщина футеровочных плит хорошо согласуется с рекомендациями по применению резиновых футеровок в шаровых мельницах [1].

Литература

1. Защитные футеровки и покрытия горно-обогатительного оборудования А.А.Тарасенко, Е.Ф.Чижик, А.А.Взоров, В.А.Настоящий — М: "Недра", 1985, 204 с.
2. Определений рациональных параметров резиновых футеровок шаровых мельниц А.Ф.Миронюк, А.А.Тарасенко, Г.П.Хабло и др. — В сб. "Обогащение полезных ископаемых", вып. 27, Киев, "Техника" 1980, с. 79 - 81.
3. Александров Е.В., Соколинский Б.В. Прикладная теория и расчеты ударных систем. — М.: "Наука", 1969, 202 с.
4. Чижик Е.Ф. Исследование резиновой футеровки на сопротивляемость удару — В сб. "Обогащение полезных ископаемых" вып. 26, Киев, "Техника", 1980, с. 71 - 75.
5. Кац А.М. Теория упругости. — М: Государственное издание технико-теоретической литературы, 1956, 207 с.
6. Пенкин Н.С. Гуммированные детали машин. — М. "Машиностроение", 1977, 200 с.
7. Потураев В.Н., Дырда В.И., Круш И.И. Прикладная механика резины — Киев. "Наукова думка" 1980, 259 с.